



افزایش کارایی انرژی در ساختمان های آموزشی از حیث شاخص های زیست محیطی به واسطه ارائه دو مدل بهینه شده از پوسته خارجی بنا (مورد مطالعاتی: مدرسه ابتدائی دخترانه حق پناه در اصفهان)

آرزو گشنیزجانی^۱، حمیدرضا فرشچی^{۲*}، اعظم السادات رضوی زاده^۳

۱- کارشناسی ارشد معماری، دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

۲- استادیار گروه فناوری معماری، دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

۳- استادیار گروه معماری، دانشکده معماری و هنر، دانشگاه آزاد اسلامی کاشان، کاشان، ایران

*کاشان، صندوق پستی: ۸۷۳۱۷۵۳۱۵۲، farshchi46@kashanu.ac.ir

چکیده

بحران های زیست محیطی به واسطه افزایش روزافزون مصرف انرژی بر کسی پوشیده نیست. از طرفی نقش گسترده صنعت ساختمان به ویژه بناهای آموزشی به عنوان یکی از بزرگترین مصرف کنندگان انرژی، اهمیت تأثیر آسایش محیطی بر افزایش عملکرد دانش آموزان و لزوم ارائه راهکارهای مقاوم سازی و بهینه سازی مدارس، توجه خاص به جداره بیرونی ساختمان ها را ضروری می کند. بنابراین به منظور ارائه راهکار همگام با مراحل بهره برداری و یا طراحی، تأمین آسایش، کاهش مصرف انرژی و مقابله با بحران های زیست محیطی؛ از میان سایر متغیرها، بررسی لایه بندی پوسته خارجی ساختمان^۱ بر اساس شاخص های زیست محیطی از اهداف این تحقیق می باشد. رویکرد روش شناختی پژوهش کمی - تحلیلی و از جنبه هدف کاربردی است. به منظور پیشبرد مطالعات و بررسی تأثیر مستقل و همزمان متغیرهای پژوهش (نوع و ضخامت عایق حرارتی و انواع بلوک های عایق ساختمانی) بر کاهش مصرف انرژی و انتشار گاز کربن دی اکسید و افزایش ساعات آسایش؛ علی رغم شبیه سازی و بررسی صحت نتایج حاصل از نرم افزار دیزاین بیلدر، از روش ارزیابی مقایسه ای به منظور قیاس نتایج حاصل از ارزیابی با وضع فعلی ساختمان بهره گرفته شده است. نتایج حاکی از آن است اجرای یک لایه هوا یا نصب یک ورق عایق حرارتی پلی استایرن منبسط شده با ضخامت ۵ سانتی متر برای ساختمان های موجود و با ضخامت ۴ - ۵ سانتی متر برای ساختمان های جدیدالاحداث بهترین عملکرد را به همراه خواهد داشت. از حیث شاخص های زیست محیطی در صورت عایق کاری جداره های خارجی ساختمان توأم با بلوک سفالی نسبت به استفاده از بلوک های عایق چون لیکا و هبلکس بدون عایق کاری عملکرد بهینه تری حاصل می شود.

کلید واژگان: بهینه سازی مصرف انرژی، طراحی زیست محیطی، پوسته خارجی، بنای آموزشی، دیزاین بیلدر، اقلیم گرم و خشک.

Increasing energy efficiency in educational buildings in terms of environmental indicators by providing two optimized models of the external shell of the building (Case study: Haqh-Panah primary school for girls in Isfahan)

Arezoo Geshnizjani¹, Hamidreza Farshchi^{2*}, Azamsadat Razavi zadeh³

1. Master of Architecture, Faculty of Architecture and Art, Kashan University, Kashan, Iran

2. Assistant Professor, Department of Architectural Technology, Faculty of Architecture and Art, Kashan University, Kashan, Iran

3. Assistant Professor, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Art, Islamic Azad University of Kashan, Kashan, Iran

* P.O.B. 8731753153 Kashan, Iran, farshchi46@kashanu.ac.ir

Received: 15 April 2024

Accepted: 19 November 2024

Abstract

Environmental crises due to the ever-increasing energy consumption are undeniable. On the other hand, the wide role of the construction industry, especially educational buildings as one of the biggest energy consumers, the importance of environmental comfort impact on increasing the performance of students, and the need to provide solutions for retrofitting



and optimization of school, make it necessary to notice the external walls of the buildings. To propose solutions aligned with the operation or design stages, provide comfort, reduce energy consumption, and deal with environmental crises; among other variables, investigating the layering of the building's external envelope based on environmental indicators is one of this research's goals. The following quantitative-analytical research has applied purpose. To advance studies and investigate the independent and simultaneous effect of research variables (type and thickness of thermal insulation and types of building insulation blocks) on reducing energy consumption and CO₂ emissions and increasing comfort hours; despite simulating and validating the results obtained from the Design-Builder software, the comparative evaluation method has been used to compare the results with the current state of the building. The results indicate that the implementation of an air layer or EPS thermal insulation sheet with a thickness 5 cm for existing buildings and a thickness 4 to 5 cm for new buildings will bring the best performance. Regarding environmental indicators, insulating the external walls combined with clay blocks provides more optimal performance compared to using insulated blocks such as Leca and Heblex without additional insulation.

Keywords: Optimization of energy consumption, Environmental Design, External shell, Educational building, Design Builder, Hot and dry climate.

۱- مقدمه

بحران‌های زیست‌محیطی چون محدودیت انرژی، تغییرات اقلیمی (تحلیل رفتن لایه ازن، گرمایش زمین و ...) توجه بسیاری را به معضل مصرف انرژی و محیط-زیست در جهان به خود معطوف ساخته است [۱-۲] از طرفی نیز دولت‌ها، معماران و شهرسازان را وادار به تحقیق و بررسی رفتار حرارتی ساختمان‌ها و ساخت بناهای زیست‌محیطی کرده‌اند. براساس گزارش اداره اطلاعات انرژی ایالات متحده، انرژی مصرف شده در ساختمان‌های عمومی ۲۰/۱٪ از کل انرژی مصرفی در سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۴۰ را تشکیل می‌دهد که این نسبت در سطح جهانی ۱/۵٪ و در کشورهای غیر عضو سازمان همکاری و توسعه اقتصادی (OCDE) (از جمله ایران) سالانه ۲/۱٪ افزایش می‌یابد [۳]. با در نظر گرفتن روند مصرف کنونی طبق پیش‌بینی بریتیش پترولیوم و چشم‌انداز ۱۴۰۴، تا سال ۲۰۳۵ مصرف نفت تا ۳۰٪ و مصرف زغال‌سنگ و گاز طبیعی تا ۵۰٪ افزایش خواهد یافت [۴] و ایران از صادر کننده خالص انرژی به یک کشور واردکننده انرژی مبدل خواهد شد [۵]. عملکرد ضعیف انرژی در ساختمان‌های موجود در بسیاری از کشورها سهم چشمگیری در انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد [۶]. حدود ۷۵٪ از ساختمان‌های موجود در اروپا مصرف انرژی بالایی دارند [۷]. در ایران نیز، باتوجه به ویرانی‌های ناشی از جنگ هشت‌ساله ایران-عراق از یک سو و رشد سریع جمعیت در دهه ۱۹۸۰ از سوی دیگر، امکان ساخت مدارس را در سطح وسیع و با کمترین هزینه ممکن فراهم کرد، چنین ساخت و سازهایی بدون توجه به تغییرات آب و هوایی، معمول با مصالح و روش‌های ساخت و ساز با کیفیت پایین اجرا شده‌اند. در نتیجه، بیش از صد هزار مدرسه با مصرف انرژی بیش از ۱۶۰ کیلووات ساعت بر مترمربع پس از پایان جنگ مذکور ساخته شد که حدود ۲.۵ برابر بیشتر از مصرف انرژی در کشورهای توسعه یافته (با نرخ متوسط ۶۵ کیلووات ساعت در مترمربع) برای مدارس معمولی است [۸]. همچنین معمولاً هدف از ساخت بنا آن است که ۶۰ تا ۸۰ و گاه تا ۱۰۰ سال از آن استفاده شود [۹]. از این رو ارائه راهکارهای مقاوم‌سازی برای ساختمان‌های موجود که علی‌رغم مصرف انرژی بیشتر، گازهای گلخانه‌ای بیشتری را در مقایسه با ساخت‌وسازهای جدید انتشار می‌دهند [۱۰-۱۱]؛ الزامی است. آلن فورد، نویسنده کتاب "معماری مدارس مدرن"، با اشاره به این که اولین تجارب، یادگیری‌ها و خاطرات انسان در مدارس شکل می‌گیرند، این فضاها را از تأثیرگذارترین بناها در زندگی بشر معرفی می‌کند. او بر این باور است که کیفیت محیط آموزشی نقشی اساسی در ارتقای سطح یادگیری و

بهبود رفتار دانش‌آموزان ایفا می‌کند [۱۲]. همچنین با عنایت به اهمیت فضاهای آموزشی در انتقال دانش و تربیت نسل‌های آینده، بدیهی است که دستیابی به یک "جامعه کارآمد در حوزه انرژی و محیط‌زیست" از مسیر "مدارس کارا" و "خانواده سبز" امکان‌پذیر است [۱۳]. بنا به تعریف انجمن ساختمان سبز آمریکا (USGBC)، مدارس سبز با ایجاد محیط‌زیست سالم سبب یادگیری بهتر فراگیران، صرفه‌جویی در مصرف منابع و سرمایه [۱۴]، کاهش پیامدهای زیست‌محیطی [۱۵] و آموزش اهمیت انرژی و محیط‌زیست به دانش‌آموزان می‌شوند [۱۶] و از طرفی اینگونه مدارس آینده‌ای را در خود شکل می‌دهند که شهروندان هرگز در برابر فرایندهای ویران‌کننده‌ی بوم‌شناختی، بی‌تفاوت نخواهند ماند [۱۷]. براساس تعریف کمیسیون جهانی سازمان ملل، طراحی کارا و اکولوژیک چهار رویکرد کاهش مصرف انرژی (مهم‌ترین هدف)، بازمصرف، بازیافت و بازآفرین را دنبال می‌کند. طراحی زیست‌محیطی و کارآمد انرژی به منظور سازگاری با اقلیم، کاهش استفاده از منابع تجدیدناپذیر، برطرف کردن نیازهای امروز بدون لطمه زدن به امکانات و توانایی‌های نسل آینده، حفظ زیست‌بوم و بقاء کره‌ی زمین نه تنها یک فلسفه طراحی بلکه یک کاربرد عملی و تکنیک نیز محسوب می‌شود که در چند سال گذشته توسط معماران پیشنهاد شده است [۱۸-۱۹]. علی‌رغم رابطه‌ی تنگاتنگ میان معماری و آموزش [۲۰] و تأثیر بسزای فضای آموزشی بر کیفیت آموزش و شرایط روحی و جسمی و رفتار دانش‌آموزان و معلمان [۲۱]؛ بررسی مطالعات پیشین در حوزه‌ی طراحی ساختمان‌های سبز و وضع موجود مدارس در کشور نشان می‌دهد، به علت مهیا نبودن ضوابط مربوطه، امروزه مدارس کارا با معیارهای استاندارد در ایران مشاهده نمی‌کنیم [۲۲]. باتوجه به نقش مؤثر انرژی در توسعه فیزیکی محیط مصنوع [۲۳] و افزایش مصرف آن به موازات رشد جوامع بشری، لزوم توجه به محدودیت منابع، پیشگیری از مواجهه با بحران انرژی، صرفه‌جویی و تأمین آسایش محیطی به‌واسطه‌ی مدیریت مصرف انرژی ضروری است. هدف مدیریت انرژی، کاهش دادن و منطقی کردن مصرف انرژی به نحوی است که توجیه اقتصادی داشته باشد و در عین حال منجر به بروز تأثیرات منفی در سطح رفاه و آسایش حرارتی ساکنان نشود [۲۴]. ساکنان اصلی مدارس کودکان و نوجوانانی هستند که میزان تنفس آن‌ها بیشتر از بزرگسالان است و اندام‌ها و سیستم ایمنی آن‌ها هنوز در حال رشد است، به این معنی که آن‌ها در برابر آلاینده‌های داخل ساختمان و محیط‌های حرارتی نامطلوب آسیب‌پذیرتر

– ۳۰٪ می‌باشد [۴۲]. مداحی و عباسی [۴۳] با شبیه‌سازی و ارزیابی یک ساختمان مسکونی در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر اظهار دارند بهینه‌ترین دیوار از نظر صرفه‌جویی انرژی، دیوار با بلوک هیلکس ۱۰ سانتی‌متری و عایق پلی‌استایرن با ضخامت ۵ سانتی‌متر می‌باشد. البته دیوار با بلوک لیکا ۱۰ سانتی‌متری و عایق پلی‌استایرن با ضخامت ۵ سانتی‌متر در فصول سرد سال عملکرد بهتری دارد. الهیاری و همکارانش با شبیه‌سازی یک ساختمان اداری در هم‌مزرگان معتقدند متغیرهایی چون جنس مصالح سقف و دیوار، ضخامت عایق دیوار و مساحت و نوع بازشوها تأثیر قابل توجهی بر میزان انرژی مصرفی و انتشار کربن دی‌اکسید دارند [۴۴]. عباس‌زاده و همکارانش ادعا می‌کنند بهینه‌سازی پارامترها و ضوابط معماری در ساختمان‌های مسکونی، میزان انرژی مصرفی را تا حدود ۴۰٪ کاهش می‌دهد [۴۵]. ساداتی و همکاران [۴۶] عملکرد حرارتی یک ساختمان را با استفاده از روش شبیه‌سازی در سه منطقه مختلف اقلیمی ایران (گرم کوب، نیمه‌خشک سرد و آب و هوای مدیترانه‌ای قاره‌ای) مورد بررسی قرار دادند. بر اساس یافته‌ها، انتخاب مصالح دیواری مناسب بر اساس شرایط آب و هوایی می‌تواند بارهای گرمایشی و سرمایشی سالانه و همچنین انتشار دی‌اکسید کربن را به ترتیب تا ۲۲٪، ۴۱٪ و ۵۱٪ کاهش دهد. گوپتا و دب [۴۷] نشان دادند که عایق‌کاری پوشش ساختمان بیشترین تأثیر و جهت‌گیری ساختمان و جرم حرارتی مصالح ساختمانی کمترین تأثیر را بر مصرف کل انرژی دارند. همچنین با ترکیب همه متغیرها و تهویه مناسب، در یک ساختمان می‌توان از ۳۵٪ تا ۶۰٪ انرژی سالانه را کاهش داد. یاری‌نژاد و مهران [۴۸] پس از شبیه‌سازی و ارزیابی یک ساختمان آموزشی در کرمانشاه در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر، اظهار دارند استفاده از عایق پلی‌اورتان در داخلی‌ترین لایه جداره کلاس‌های جنوبی و شمالی با ضخامت ۱۰ سانتی‌متر بهینه‌ترین عملکرد را به‌همراه دارد.

مطالعات محدودی به‌صورت جامع تأثیر جزئیات لایه‌بندی پوسته خارجی ساختمان‌ها را در مرحله بهره‌برداری و یا طراحی براساس شاخص‌های زیست‌محیطی بر میزان انرژی مصرفی، ساعات آسایش و انتشار گازهای گلخانه‌ای مورد ارزیابی قرار داده‌اند. از این رو در پژوهش پیش‌رو، به‌جهت نوآوری و برداشتن گامی در جهت دستیابی به ساختمان‌های آموزشی کارا و کم‌کربن، ضمن بررسی تأثیر مستقل و همزمان متغیرهای پژوهش براساس شاخص‌های زیست‌محیطی و ارائه راهکارهای افزایش کارایی در ساختمان‌های موجود و جدیدالاحداث، سعی شده است تا حد امکان به سؤالات پژوهش پاسخ داده شود:

۱) بهینه‌ترین ضخامت عایق حرارتی به‌کار رفته در جداره خارجی مدارس همگام با مرحله بهره‌برداری و طراحی در اقلیم گرم و خشک کدام است؟
 ۲) از میان مصالح متداول مصرفی در جداره خارجی مدارس شهر اصفهان باتوجه به شاخص‌های معماری زیست‌محیطی و تأثیر مستقل و همزمان متغیرهای پژوهش (بلوک‌های عایق ساختمانی و عایق حرارتی) کدام یک به‌جهت بهینه‌سازی پوسته خارجی بنا بهینه‌ترین عملکرد را به‌همراه خواهد داشت؟

۲- روش‌شناسی پژوهش

رویکرد روش‌شناختی پژوهش پیش‌رو کمی - تحلیلی و از جنبه هدف، کاربردی است. روند پیشبرد مطالعات به‌منظور جلوگیری از اتلاف زمان، هزینه و انرژی

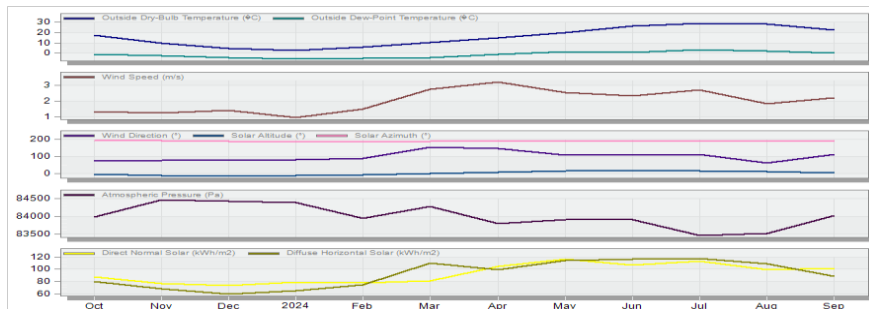
هستند [۲۵]. باوجود آنکه مدارس مناطق گرم و خشک ۴۱.۹٪ از کل انرژی مصرفی مدارس ایران را به خود اختصاص می‌دهند، بسیاری از کلاس‌های درس در این مناطق همچنان از تأمین شرایط لازم برای آسایش محیطی بی‌بهره‌اند [۲۱]. نبود سطوح کافی آسایش محیطی و افزایش مقدار کربن‌دی‌اکسید در فضاهای داخلی می‌تواند سبب سردرد، خستگی، علائم چشمی، آبریزش بینی، بیماری‌های دستگاه تنفسی و کاهش کیفیت فضا، عملکرد و بازدهی دانش‌آموزان شود [۲۶]. در همین راستا نه تنها در دوره فعلی بلکه از گذشته آسایش حرارتی^۲ یکی از اجزای طراحی و برنامه‌ریزی فضای شهری محسوب شده و از شاخص‌های ارزیابی محیط کالبدی و اجتماعی به‌شمار می‌آید؛ تا آنجا که مهم‌ترین بحث در خلق فضاهای مصنوعی، پاسخگویی به عوامل محیطی به‌منظور کسب آسایش است و در کنار سایر عوامل طراحی، فضایی مطلوب را برای شهروندان فراهم می‌کند [۲۷]. آژانس بین‌المللی انرژی (IEA) اعلام کرد که ساختمان‌ها مصرف‌کننده اصلی انرژی در جهان هستند، به طوری که پوشش‌های خارجی ساختمان، مسئول ۳۶٪ مصرف انرژی و ۳۹٪ انتشار دی‌اکسید کربن (CO₂) در سال ۲۰۱۸ بوده‌اند [۲۸] و تأثیر قابل توجهی بر محیط‌زیست دارند [۲۹]. علی‌رغم تأثیر پارامترهایی چون: ۱) طراحی معماری و سازه، ۲) جنس و نوع مصالح، ۳) تأسیسات مکانیکی و الکتریکی، ۴) مدیریت و برنامه‌ریزی درست از جمله: سیستم هوشمند و ۵) عوامل فردی و محیطی بر بهینه‌سازی مصرف انرژی [۳۰]، پوسته ساختمان به‌عنوان حائل فضای داخلی و خارجی و مهم‌ترین منبع دریافت‌کننده نور و انرژی خورشیدی، در عملکرد حرارتی بنا، گرمایش و سرمایش، تهویه تمعدی و ناخواسته، کنترل نوفه‌های صوتی و کیفیت طراحی و اجرا نقش اساسی ایفا می‌کند [۳۱-۳۲].

۱-۱- پیشینه پژوهش

پژوهشگران مختلفی تأثیر فاکتورهای طراحی بر عملکرد، میزان انرژی مصرفی و آسایش بصری و حرارتی فضاها را مورد بررسی قرار داده [۳۳-۳۶] و نشان داده‌اند توجه به آن‌ها در مراحل اولیه طراحی ضروری است [۳۷]؛ اما تعداد معدودی از آن‌ها به ارائه راهکار و اولویت‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان در شرایط اقلیمی مختلف پرداخته‌اند [۳۳-۳۵]. پژوهش‌ها عمدتاً در زمینه بهینه‌سازی مصرف انرژی شامل عایق‌کاری مناسب جداره‌ها، استفاده از شیشه‌های دوجداره با پوشش محافظ، سیستم‌های نورپردازی و تأسیسات حرارتی بهینه می‌باشد [۳۸، ۳۹]. یوسفی و همکاران [۴۰]، پس از شبیه‌سازی و ارزیابی عملکرد پوسته خارجی ۹ ساختمان آموزشی در سناریوهای مختلف در سه شهر ایلام، تبریز و یزد، اظهار دارند بیشترین درصد کاهش مصرف انرژی در اقلیم گرم و خشک (شهر یزد) متعلق به عناصر دیوارها [۴۲] و پس از آن سقف (۳۳٪) و بازشوها (۸٪) می‌باشد. کشتکاران و همکارانشان معتقدند پس از بهینه‌سازی جداره‌های مدارس علی‌رغم بهینه‌سازی مصرف انرژی، مجموع ساعات آسایش در کل بنا ۲ برابر خواهد شد [۴۱]. مداحی و توانائی با شبیه‌سازی یک ساختمان مسکونی میان‌مرتبه در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر و همچنین بررسی پارامترهایی چون عایق حرارتی، مصالح جداره خارجی و درصد بازشو به سطح ادعا می‌کنند بهترین حالت مربوط به دیتیل دیوار با "بلوک بتنی گازی اتوکلاو شده (AAC) ۱۰ سانتی‌متری و عایق حرارتی پلی‌استایرن اکستروود شده ۵ سانتی‌متری" و "نسبت بازشو به سطح ۲۵

(ضوابط طراحی مدارس) و برخی از پیش‌فرض‌های نرم‌افزار تعیین شده است. بازه زمانی استفاده از سیستم سرمایش و گرمایش براساس جزئیات روز درجه گرمایش و سرمایش اصفهان در نرم‌افزار اعمال شده است. داده‌های آب‌وهوایی شهر اصفهان از نزدیک‌ترین ایستگاه‌های هواشناسی و بروزترین و معتبرترین سایت‌ها و نرم‌افزارهای اقلیمی چون Climate و Climate.onebuilding.org و Consultant 6.00 با فرمت EPW تهیه شده و در نهایت به‌منظور اعتبارسنجی و ارزیابی روایی داده‌های اقلیمی، نتایج حاصل از اعمال داده‌های آب‌وهوایی شهر اصفهان در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر در قالب نمودار ارائه شده است (شکل ۱). همچنین نتایج حاصل از ارزیابی در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر با مصرف واقعی انرژی (برق) ساختمان، که از قیوض برق ساختمان نمونه در بازه زمانی یکساله (سال ۱۴۰۲) به‌دست آمده، اعتبارسنجی شد (میانگین مصرف برق براساس واقعیت و شبیه‌سازی در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر: ۳۴۰۰۰ و ۳۸۰۰۰ کیلووات ساعت - حدود اختلاف: ۱۲٪). علی‌رغم تأثیر پارامترهایی چون: (۱) طراحی معماری و سازه، (۲) جنس و نوع مصالح، (۳) تأسیسات مکانیکی و الکتریکی، (۴) مدیریت و برنامه‌ریزی درست ازجمله: سیستم هوشمند و (۵) عوامل فردی و محیطی بر بهینه‌سازی مصرف انرژی [۳۰]، در تحقیق حاضر برای ساختمان نمونه براساس شاخص‌های زیست‌محیطی (پایداری زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی) تأثیر جزئیات لایه‌بندی پوسته خارجی ساختمان به‌عنوان یکی از مؤثرترین متغیرهای مورد ارزیابی از حیث انرژی، تبادل حرارت و انتشار گازهای گلخانه‌ای بر میزان انرژی مصرفی، انتشار گاز کربن‌دی‌اکسید و ساعات آسایش در ۲ مرحله مورد ارزیابی قرار گرفته است. در ادامه نیز روند انجام پژوهش ارائه شده است (شکل ۲).

مصرفی، بروز خطاهای احتمالی در پروژه و تعیین جزئیات همساز با اقلیم و اجرایی؛ به روش شبیه‌سازی است. باتوجه به اینکه نتایج به دست آمده از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر نسبت به سایر نرم‌افزارهای تخصصی شبیه‌سازی انرژی بسیار به شرایط واقعی نزدیک‌تر است؛ این نرم‌افزار از سال ۲۰۰۵ به‌عنوان ابزاری قدرتمند برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی ساختمان‌های کارا با استفاده از موتور مدل‌سازی انرژی پلاس، در دانشگاه‌ها و شرکت‌های کشورهای توسعه‌یافته به‌طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته است. این نرم‌افزار بر مبنای شرایط اقلیمی، مصارف مختلف انرژی در ساختمان نظیر انرژی گرمایشی و سرمایشی، روشنایی، آب گرم مصرفی، تهویه و سایر تجهیزات مکانیکی و الکتریکی را به صورت دینامیک مدل‌سازی می‌کند و در نهایت مصرف انرژی سالانه، ماهانه و حتی روزانه ساختمان‌ها را براساس استاندارد اشری ۵۵ در قالب جداول و نمودارها نمایش می‌دهد [۴۹]. جامعه آماری پژوهش فعلی، مدارس ساخته شده توسط سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس استان اصفهان است. این‌رو از میان مدارس ابتدایی ساخته شده توسط این سازمان بر اساس نمونه‌گیری غیراحتمالی و هدفمند، یک نمونه واقعی اجراشده که علی‌رغم داشتن بازوهای عایق (دوجداره)، سایر جزئیات اجرایی پوسته خارجی آن بنا نیازمند ارزیابی و اصلاح باشد، انتخاب گردید. باتوجه به واقعی بودن نمونه مورد مطالعه، مدل‌سازی ساختمان با حداکثر دقت و شباهت باتوجه به شرایط فعلی پروژه در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر (Design Builder) نسخه ۷.۰۰ انجام گردیده است. داده‌های پژوهش و اطلاعات ورودی به نرم‌افزار براساس مطالعات کتابخانه‌ای و اسنادی به‌روز و معتبر چون کتب و مقالات پژوهشی، شرایط اقلیمی و جغرافیایی شهر اصفهان، مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، نشریه ۶۹۷



شکل ۱ ارزیابی مؤلفه‌های اقلیمی شهر اصفهان حاصل از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر

- | | | | |
|--|---|--|---|
| <p>(۱) انتخاب نمونه موردی: مدرسه ابتدایی دخترانه حاج علی حق‌پناه در اصفهان</p> | <p>(۲) شبیه‌سازی در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر نسخه ۷.۰۰ و اعتبارسنجی نتایج حاصل از ارزیابی اولیه</p> | <p>(۳) انتخاب متغیرهای مورد ارزیابی: متغیر مستقل: نوع و ضخامت عایق حرارتی (لایه هوا و EPS - از ۱ تا ۵۰ سانتی‌متر) و بلوک‌های ساختمانی (سفالی، لیکا و هبلکس) و متغیر وابسته: میزان انرژی مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای و شرایط آسایش محیطی.</p> | <p>(۴) الف) ارزیابی نهایی، ب) قیاس نتایج حاصل از ارزیابی با وضع فعلی ساختمان نمونه و ج) ارائه راهکارهای مقاوم‌سازی و پیشنهاد الگوهای طراحی برای ساختمان‌های آموزشی همگام با مرحله بهره‌برداری و یا طراحی.</p> |
|--|---|--|---|

شکل ۲ شیوه‌ی انجام پژوهش

۳- بستر پژوهش

۳-۱- اقلیم و مصالح رایج در اصفهان

دارند. از سوی دیگر هماهنگی ساختمان‌ها با شرایط اقلیمی موجب صرفه‌جویی در مصرف سوخت مورد نیاز برای کنترل شرایط محیطی این‌گونه ساختمان‌ها می‌شود [۵۰]. در شرایط آب‌وهوایی مناطق گرم و خشک ایران ازجمله اصفهان، ساخت دیوارهای ضخیم (تا قطر ۶۰ cm) با جرم حرارتی

توجه به خصوصیات اقلیمی و تأثیری که این خصوصیات بر شکل‌گیری ساختمان‌ها می‌گذارند، از دوجنبه حائز اهمیت دارد. از یک سو ساختمان‌های همساز با اقلیم از نظر آسایش محیطی کیفیت بهتری

۳-۳- انتشار گازهای گلخانه‌ای (کربن دی‌اکسید) - ساختمان کم کربن
 تغییرات اقلیمی توجه بسیاری از پژوهشگران را به روش‌ها، ایده‌ها و قوانین برای دستیابی به ساختمان‌ها و شهرهای کم‌کربن در توسعه آینده جلب کرده است. کشور ایران جزء ده کشور اول تولیدکننده دی‌اکسید کربن در جهان است [۵۶]. مطابق ترازنامه انرژی ایران در سال ۱۳۹۶، ۲۳/۳٪ از سهم انتشار CO₂ در کشور مربوط به بخش ساختمان (خانگی، تجاری و عمومی) است [۵۷]. با توجه به بیانیه مجمع بین‌المللی تغییرات اقلیمی، بخش ساختمان به‌صرفه‌ترین فرصت‌ها [۵۸] را به‌واسطه‌ی بهبود میزان بهره‌وری انرژی [۵۹] برای کاهش انتشار کربن ارائه می‌دهد [۵۸]. بنابراین با توجه به سهم ساختمان‌ها در انتشار کربن و طول عمر بیشتر آن‌ها نسبت به سایر تولیدکنندگان کربن، پرداختن به موضوع ساختمان کم‌کربن در کشور ضرورت دارد. ساختمان کم‌کربن، بنایی است که ضمن تضمین آسایش محیطی، انتشار کربن کمتری نسبت به ساختمان‌های متداول دارد [۶۰]. ساکنان ساختمان‌های کم‌کربن، سطح بالاتری از رضایت و تندرستی دارند و با توجه به هزینه بهره‌برداری کم در این بناها از نظر اقتصادی هم مقرون به‌صرفه‌اند [۶۱]. ابوالحسنی و همکاران [۶۲]، اظهار دارند از میان شاخص‌های مؤثر بر دستیابی به ساختمان‌های کم‌کربن، معیارهای "طراحی اقلیمی" و "ارتقاء پوسته خارجی بنا متناسب با اقلیم" از مؤثرترین و بااهمیت‌ترین راهکارهای موجود به شمار می‌آیند.

۳-۴- معرفی اجمالی نمونه مطالعاتی

مدرسه ابتدایی دخترانه حاج علی حق‌پناه، در سال ۱۳۹۱ در اصفهان به صورت دوطبقه در زمینی با متراژ ۲۸۹۰ مترمربع (با ۵۶٪ درصد تراکم و ۲۳٪ سطح اشغال) بنا شده است. بنای موردنظر شامل دوازده کلاس درس، سه اتاق امور اداری، آزمایشگاه، اتاق بایگانی، بهداشت و سرایدری، کتابخانه، سایت کامپیوتر، نمازخانه، انباری، موتورخانه، سالن همایش، سرویس بهداشتی و آب‌خوری می‌باشد. براساس سازمان‌دهی کالبدی-فضایی در این ساختمان کودکان می‌توانند فرم و فضا را درک کنند. متوسط تعداد کاربران (دانش‌آموزان ۷-۱۲ ساله + کارکنان) جمعاً ۳۶۰ نفر در نظر گرفته شده است که در روزهای شنبه تا چهارشنبه ساعت ۸ تا ۱۳ بعدازظهر از ۱ مهر تا ۳۰ خرداد ماه به‌جز روزهای تعطیل در مدرسه حضور می‌یابند. فضاهای اداری در تابستان به‌صورت ۳ روز در هفته (شنبه، دوشنبه و چهارشنبه) از ساعت ۸ تا ۱۳ بعدازظهر و اتاق سرایدری به صورت ۲۴ ساعته در کل سال مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ساختمان مورد ارزیابی سیستم سرمایشی، کولر آبی (COP = 4 OR 5) و سیستم گرمایشی، رادیاتور (COP = 0.8) می‌باشد. با توجه به ضوابط نشریه ۶۹۷، متوسط میزان شدت روشنایی هر فضا برحسب لوکس محاسبه شده و نور فضاها نیز عمدتاً از ترکیب نور طبیعی و مصنوعی تأمین می‌شود. اسکلت بنا بتنی است و برای بام، عایق حرارتی و رطوبتی و همچنین برای کف فضاهای مرطوب نیز عایق رطوبتی در نظر گرفته شده است. در ادامه جزئیات اجرایی ساختمان در قالب جدول ارائه شده است (جدول ۱).

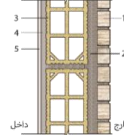
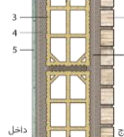
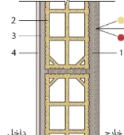
زیاد و با مصالحی چون کاهگل، خشت و آجر تا حدود زیادی می‌تواند تعدیل‌کننده شرایط حرارتی و رطوبتی محیط بیرون و تأمین‌کننده شرایط آسایش برای ساکنین ساختمان باشد؛ حال آنکه در معماری امروز، این مصالح با متربالی چون بلوک‌های آجری، سیمانی، سفالی توخالی، بلوک‌های سیمانی سبک منبسط شده (لیکا) و بتن سبک گازی (هبلکس) با چگالی و ظرفیت حرارتی پایین‌تر جایگزین شده‌اند که در بعضی مواقع با گران شدن قیمت زمین و همچنین رواج سیستم تیر و ستون به جای سیستم دیوار باربر، با عایق‌های حرارتی ترکیب شده تا دیوارهای خارجی با ساختار نازک‌تری را تشکیل دهند [۵۱]. با توجه به مباحث فوق و گفتگوهای صورت گرفته با کارشناسان فعال در صنعت ساخت و ساز عمدتاً در ساختمان‌های آموزشی شهر اصفهان از بلوک‌های سیمانی و سفالی استفاده می‌شود، در این میان بلوک‌های سفالی بیشترین کاربرد را دارند و لازم است در آینده با بلوک‌های دیگری چون بلوک لیکا و یا هبلکس^۳ جایگزین شوند.

۳-۲- اقلیم اصفهان

کویر مرکزی ایران از گرم و خشک‌ترین مناطق جهان است. مناطق بیابانی (زاهدان، یزد و قم) و نیمه‌بیابانی (تهران، مشهد و اصفهان) در کشور ایران ۹۸۵۷۹۵ کیلومترمربع (۵۹/۸۰٪) از کل مساحت کشور را شامل می‌شوند. شهر اصفهان مرکز شهرستان و استان اصفهان، با وسعتی حدود ۱۵۶۸۹ کیلومترمربع در منطقه‌ی نیمه کویری و در ارتفاعی حدود ۱۵۸۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است [۵۲]. با توجه به مختصات جغرافیایی شهر اصفهان (۳۰° ۳۸' ۳۲" عرض شمالی و ۴۰° ۳۹' ۵۱" طول شرقی) و دسته‌بندی اقلیمی کوین گایگر، این شهر در گروه BWK (اقلیم گرم و خشک) قرار دارد. همچنین براساس تقسیمات اقلیمی ایران، آب و هوای شهر اصفهان با نوع نیمه صحرایی سرد یعنی زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم مطابقت دارد [۵۳]. با توجه به داده‌های سینوپتیک ایستگاه هواشناسی اصفهان میانگین حداکثر و حداقل درجه حرارت ثبت‌شده به ترتیب مربوط به تیرماه (۳۷ °C) و دی ماه (۱ °C) می‌باشد (حداکثر دمای آسایش در تابستان (۲۶ °C) و حداقل دمای آسایش در زمستان (۲۱ °C)). با توجه به شرایط اقلیمی و جغرافیایی شهر اصفهان می‌توان در طول سال و در بازه آموزشی مدارس (از مهر تا خرداد، به مدت ۹ ماه)، از انرژی خورشیدی به‌منظور تأمین گرمایش و روشنایی در ساختمان بهره‌مند شد (با توجه به اینکه انرژی غالب و لازم جهت تأمین آسایش در اصفهان، از نوع گرمایشی است). باد غالب در اصفهان با سرعت ۱۰ m/s، از جهتی حذفاصل جنوب‌غربی و شمال‌غربی می‌وزد [۵۴]. همچنین براساس آمار رسمی ارائه شده، میانگین ماهانه رطوبت نسبی هوا در ایستگاه اصفهان، ۳۸/۷٪ گزارش شده است (میانگین کمینه رطوبت‌نسبی تقریباً ۲۳٪ و میانگین بیشینه آن حدود ۵۷/۶٪) [۵۵].

جدول ۱ جزئیات اجرایی مدرسه حاج علی حق‌پناه

عنوان	ضخامت جداره	ضریب انتقال حرارت (w/m ² .k)	دیتیل‌های اجرایی	جزئیات لایه‌بندی
-------	-------------	---	------------------	------------------

دیوار خارجی (در مجاورت فضای خشک)	۳۰/۵ سانتی متر	۱/۲۵۲		(۱) آجر نما کرمی ۵ سانتی متری (۲) ۳ سانتی متر ملات ماسه سیمان (۳) بلوک سفالی (۲۰ سانتی متری) (۴) ۱.۵ سانتی متر گچ و خاک (۵) ۱ سانتی متر گچ و روکش رنگ روغنی سفید
دیوار خارجی (در مجاورت فضای مرطوب)	۳۲ سانتی متر	۱/۲۲۳		(۱) آجر نما کرمی ۵ سانتی متری (۲) ۳ سانتی متر ملات ماسه سیمان (۳) بلوک سفالی (۲۰ سانتی متری) (۴) ۳ سانتی متر ملات ماسه سیمان (۵) ۱ سانتی متر کاشی
دیوار خارجی مکعب‌های رنگی (در مجاورت فضای خشک)	۲۵/۵ سانتی متر	۱/۵۱۷		روکش نهایی نما (قرمز، سبز و زرد) (۱) ۳ سانتی متر ملات ماسه سیمان (۲) بلوک سفالی (۲۰ سانتی متری) (۳) ۱.۵ سانتی متر گچ و خاک (۴) ۱ سانتی متر گچ و روکش رنگ روغنی سفید

نکات تکمیلی: برای دیوارهای داخلی ساختمان، بلوک‌های سفالی ۱۰ سانتی متری در نظر گرفته شده است.
 بازشوهای دوجداره با قاب آلومینیوم سفید رنگ (شیشه ۶ mm - گاز آرگون ۱ mm - شیشه ۴ mm)
 سایبان: داخلی - پرده / خارجی: بازشوها دقیقاً در راستای سطوح خارجی بنا اجرا نشده‌اند (به صورت تورفته).

۴- بحث و یافته‌های پژوهش

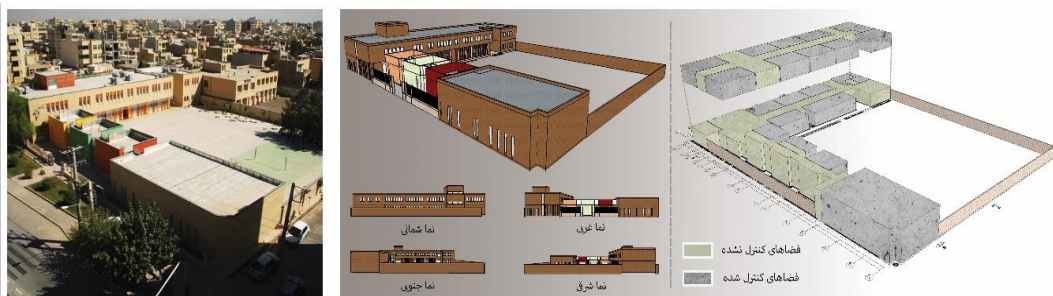
۴-۱- فرآیند شبیه‌سازی و ارزیابی اولیه

در نهایت نتایج حاصل از شبیه‌سازی و ارزیابی شرایط فعلی پروژه به شرح زیر است:
 الف) میزان انرژی مصرفی در ساختمان: ۹۸.۳۰ کیلووات ساعت بر مترمربع،
 ب) میزان کل انرژی مصرفی (از تولید تا مصرف): ۱۶۶.۳۵ کیلووات ساعت بر مترمربع،
 پ) بار سرمایش و گرمایش به ترتیب: ۴۷۱.۱۹ و ۵۱۳.۳۲۰ کیلووات،
 ت) میزان انتشار کربن دی‌اکسید: ۲۹۳۴۸.۷۶ کیلوگرم و
 ث) ساعات عدم آسایش: ۸۸۲.۸۰ ساعت.

مطابق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان به منظور طراحی استاندارد، ۴ روش ارزیابی اعم از تجویزی، موازنه‌ای (کارکردی)، نیاز انرژی ساختمان و روش کارایی انرژی و در نهایت ۳ رده‌بندی مصرف انرژی براساس کاربری و درجه انرژی ساختمان‌ها (جدول ۲) تعریف گردیده است. در پژوهش فعلی باتوجه به واقعی بودن نمونه مورد مطالعه و ضوابط مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان (جدول ۲)؛ به منظور مدل‌سازی و شبیه‌سازی ساختمان با حداکثر دقت و شباهت در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر (شکل ۳) و ارزیابی دقیق و یکپارچه پارامترهای پروژه از روش "کارایی انرژی"^۴ بهره گرفته شده است.

جدول ۲ تعیین گروه ساختمان مورد ارزیابی - رده‌بندی مصرف انرژی براساس مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان

موقعیت سایت	گونه‌بندی کاربری ساختمان	گونه‌بندی از نظر درجه انرژی	تعداد طبقات	زیربنای مفید ساختمان	بهره‌گیری از انرژی خورشید	نحوه استفاده از بنا	گروه ساختمان	مطابق استانداردهای مبحث ۱۹ - EC	کم انرژی EC+	بسیار کم انرژی EC++
اصفهان	آموزشی - گروه ب	متوسط - گرمایش	۲ طبقه	حدود ۱۸۰۰ مترمربع	بله متوسط	منقطع ۸-۱۳ بعدازظهر	گروه ۳ - در اولویت پایین از نظر صرفه‌جویی	۱۶۰ KWh/m ²	۱۰۰ KWh/m ²	۸۰ KWh/m ²



شکل ۳ (راست به چپ) فضاهای کنترل شده و نشده، طرح کلی و ۴ نمای اصلی ساختمان در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر و نمای واقعی از مدرسه حاج علی حق‌پناه

۴-۲- فرآیند ارزیابی نهایی و یافته‌های پژوهش

افزایش یافته است). ۲-۱. در نمونه اول باتوجه به نظر کارشناسان، مجریان صنعت ساخت و ساز و شاخص‌های معماری زیست‌محیطی از میان عایق‌های موجود، لایه هوا (۰/۰۲۴ W/m.k) و عایق پلی‌استایرن انبساطی^۱ EPS (۰/۰۳۷ W/m.k) و چگالی (۲۰ kg/m³) جهت ارزیابی انتخاب شده است. براساس شاخص‌های زیست‌محیطی و نتایج بدست آمده مطابق جداول ۳ و ۴ می‌توان ادعا کرد: ۱. علی‌رغم ثابت نگه‌داشتن سایر متغیرهای پژوهش پس از ارزیابی ۲ نوع عایق حرارتی (لایه هوا و پلی‌استایرن انبساطی EPS) به‌صورت کاملاً مجزا بر روی جداره‌های خارجی متشکل از بلوک سفالی به‌منظور تعیین ضخامت عایق بهینه و استاندارد، نتایجی یکسان (ضخامت ۵ سانتی‌متر) حاصل شد و ۲. در صورت استفاده از عایق حرارتی در جداره خارجی ساختمان بهترین و به‌صرفه‌ترین نتیجه زمانی حاصل می‌شود که از عایق حرارتی با ضخامت ۵ سانتی‌متر در سمت داخلی ساختمان استفاده شود (درصد تغییرات کل انرژی مصرفی، انتشار کربن‌دی‌اکسید و ساعات عدم آسایش نسبت به شرایط فعلی ساختمان: ۱/۰٪، ۶/۴٪، ۳/۹۳٪ - رده‌بندی انرژی: نزدیک به حفاصل EC⁺ - EC⁺⁺) (جداول ۳ و ۴).

به‌منظور ارائه یکی از مؤثرترین راهکارهای مقاوم‌سازی و طراحی ساختمان‌های آموزشی کارا و کم‌کربن، در این بخش به بررسی تأثیر عایق‌کاری و استفاده از بلوک‌های عایق ساختمانی بر میزان انرژی مصرفی، انتشار کربن‌دی‌اکسید و ساعت آسایش در بناهای آموزشی پرداخته شده است: ۲-۱. نمونه اول: ساختمان‌های موجود (شرایط فعلی) - همگام با مرحله بهره‌برداری و ۲-۲. نمونه دوم: ساختمان‌های جدیدالاحداث - همگام با طراحی. برای هر دو نمونه در مرحله اول دیوارهای خارجی متشکل از بلوک سفالی در ۱۱ حالت مختلف شبیه‌سازی شده که در آن ضخامت عایق حرارتی از ۱ تا ۵۰ سانتی‌متر تغییر کرده است (در این ۱۱ حالت ضخامت عایق حرارتی به صورت ۵ سانت ۵ سانت افزایش یافته است^۳). باتوجه به نتایج مرحله اول و اینکه افزایش ضخامت عایق حرارتی همیشه منجر به بهبود عملکرد ساختمان در حوزه انرژی، اقتصادی و مسائل زیست‌محیطی نمی‌شود؛ در مرحله دوم دیوارهای خارجی در ۵ حالت مختلف شبیه‌سازی شده که در آن ضخامت عایق حرارتی از ۱ تا ۵ سانتی‌متر تغییر کرده است (در این ۵ حالت ضخامت عایق حرارتی به صورت ۱ سانت ۱ سانت

جدول ۳ مرحله اول (وضع موجود) - تأثیر عایق‌بندی حرارتی (لایه هوا و عایق پلی‌استایرن انبساطی EPS) بر میزان انرژی مصرفی، انتشار کربن‌دی‌اکسید و ساعات عدم آسایش

نوع عایق حرارتی	ضخامت عایق حرارتی	میزان کل انرژی مصرفی ^۲ kwh/m ²	میزان انرژی مصرفی در ساختمان ^۳ kwh/m ²	تغییرات میزان انرژی مصرفی در هر ردیف نسبت به حالت قبل (%)	میزان انتشار kg - CO ₂	ساعات عدم آسایش
حالت مبنا (بدون عایق)		۱۶۶.۳۵	۹۸.۳۰	-	۲۹۳۴۸.۷۶	۸۸۲.۸۰
۵ cm - بهینه‌ترین	۵ cm	۱۴۸.۲۴	۹۲.۱۲	-۱۰.۹۰	۲۷۳۵۶.۸۲	۸۴۵.۶۸
۱۰ cm	۱۰ cm	۱۴۶.۱۳	۹۱.۶۱	-۱.۴۲	۲۶۸۷۸.۵۳	۸۴۰.۲۳
۱۵ cm	۱۵ cm	۱۴۵.۴۹	۹۱.۳۷	-۰.۴۳	۲۶۵۰۸.۹۴	۸۳۶.۵۹
۲۰ cm	۲۰ cm	۱۴۵.۴۳	۹۱.۳۷	-۰.۰۴	۲۶۲۱۰.۰۶	۸۳۳.۹۵
۲۵ cm	۲۵ cm	۱۴۵.۴۸	۹۱.۳۵	+۰.۰۳	۲۵۹۱۰.۵۵	۸۳۲.۸۷
۳۰ cm	۳۰ cm	۱۴۵.۶۲	۹۱.۳۷	+۰.۱۰	۲۵۶۲۲.۵۶	۸۳۱.۳۰
۳۵ cm	۳۵ cm	۱۴۵.۹۱	۹۱.۴۳	+۰.۲۰	۲۵۳۵۶.۳۸	۸۳۰.۱۰
۴۰ cm	۴۰ cm	۱۴۶.۰۳	۹۱.۴۱	+۰.۰۸	۲۵۰۶۷.۷۸	۸۲۷.۷۲
۴۵ cm	۴۵ cm	۱۴۶.۳۷	۹۱.۴۷	+۰.۲۳	۲۴۸۱۱.۵۹	۸۲۷.۳۳
۵۰ cm	۵۰ cm	۱۴۶.۷۶	۹۱.۵۴	+۰.۲۷	۲۴۵۵۲.۹۹	۸۲۶.۷۲
حالت مبنا (بدون عایق)		۱۶۶.۳۵	۹۸.۳۰	-	۲۹۳۴۸.۷۶	۸۸۲.۸۰
۵ cm - بهینه‌ترین	۵ cm	۱۴۹.۳۸	۹۲.۵۳	-۱۰.۲۰	۲۷۴۶۶.۱۹	۸۴۸.۱۳
۱۰ cm	۱۰ cm	۱۴۷.۱۰	۹۱.۹۷	-۱.۵۳	۲۶۹۶۹.۳۷	۸۴۳.۰۵
۱۵ cm	۱۵ cm	۱۴۶.۲۵	۹۱.۶۷	-۰.۵۸	۲۶۵۸۰.۵۷	۸۳۸.۹۷
۲۰ cm	۲۰ cm	۱۴۵.۹۴	۹۱.۵۶	-۰.۲۱	۲۶۲۴۹.۳۱	۸۳۶.۳۱
۲۵ cm	۲۵ cm	۱۴۵.۹۷	۹۱.۵۶	+۰.۰۲	۲۵۹۵۱.۳۵	۸۳۴.۰۹
۳۰ cm	۳۰ cm	۱۴۵.۹۲	۹۱.۵۲	-۰.۳۴	۲۵۶۵۰.۳۳	۸۳۱.۳۶
۳۵ cm	۳۵ cm	۱۴۶.۱۰	۹۱.۵۵	+۰.۱۲	۲۵۳۶۹.۱۶	۸۳۰.۱۴
۴۰ cm	۴۰ cm	۱۴۶.۳۵	۹۱.۵۸	+۰.۱۷	۲۵۰۹۵.۵۵	۸۲۸.۹۵
۴۵ cm	۴۵ cm	۱۴۶.۷۶	۹۱.۶۵	+۰.۲۸	۲۴۸۳۸.۹۸	۸۲۸.۹۹
۵۰ cm	۵۰ cm	۱۴۷.۴۵	۹۱.۹۱	+۰.۴۷	۲۴۶۲۸.۰۹	۸۲۸.۶۲

3. Total Site Energy

1. Expanded Polystyrene
2. Total Source Energy

جدول ۴ مرحله دوم - تأثیر عایق بندی حرارتی بر میزان انرژی مصرفی، انتشار کربن دی اکسید و ساعات عدم آسایش تحت تأثیر استفاده از عایق پلی استایرن انبساطی EPS

عایق حرارتی	ضخامت عایق حرارتی	حدود قیمت (ریال) - هر ورق ۱*۲ متر - ۱۴۰۲	میزان کل انرژی مصرفی kwh/m ²	میزان انرژی مصرفی در ساختمان kwh/m ²	تغییرات میزان انرژی مصرفی نسبت به حالت قبل (%)	تغییرات میزان انرژی مصرفی نسبت به حالت قبل (%)	میزان انتشار CO ₂ - kg	ساعات عدم آسایش
حالت مبنا (بدون عایق)		-	۱۶۶.۳۵	۹۸.۳۰	-	-	۲۹۳۴۸.۷۶	۸۸۲.۸۰
عایق ۱ cm پلی-استایرن انبساطی EPS	۱ cm	۳۰۰۰۰۰	۱۵۸.۸۷	۹۵.۹۶	-۴.۵۰	-۲.۴۰	۲۸۴۹۲.۵۷	۸۷۰.۵۸
	۲ cm	۶۰۰۰۰۰	۱۵۵.۸۷	۹۵.۰۰	-۱.۸۹	-۶.۳۰	۲۸۱۲۰.۳۱	۸۶۴.۸۳
	۳ cm	۹۰۰۰۰۰	۱۵۳.۸۳	۹۴.۳۴	-۱.۳۱	-۷.۵۲	۲۷۸۳۹.۶۲	۸۶۰.۵۸
	۴ cm	۱۲۰۰۰۰۰	۱۵۲.۴۸	۹۳.۹۰	-۰.۸۸	-۸.۳۳	۲۷۶۲۷.۸۴	۸۵۷.۲۲
	۵ cm	۱۴۵۰۰۰۰	۱۴۹.۳۸	۹۲.۵۳	-۲.۰۰	-۱۰.۲	۲۷۴۶۶.۱۹	۸۴۸.۱۳

توضیحات تکمیلی: رده بندی انرژی برای ساختمان در صورت استفاده از عایق حرارتی با ضخامت ۱ - ۲ سانتی متر: نزدیک به رده EC⁺ و ضخامت ۳ - ۵ سانتی متر: نزدیک به

حداقل EC⁺ - EC⁺⁺

۲-۲. نمونه دوم (همگام با طراحی): اگر به مدرسه حق پناه به عنوان یک ساختمان جدید نگاه شود می توان همگام با مرحله طراحی، تأثیر بهینه سازی پوسته خارجی بنا بر میزان انرژی مصرفی، انتشار کربن دی اکسید و ساعات آسایش را مورد بررسی و آزمون قرار داد. در این مرحله باتوجه به نظر کارشناسان، مجریان صنعت ساخت و ساز و بررسی های صورت گرفته، عایق حرارتی پلی استایرن انبساطی EPS (۰/۳۷ W/m.k) و چگالی (۲۰ kg/m³) و بلوک های سفالی (۰/۵ W/m.k)، لیکا (۰/۱۷ W/m.k) و هبلکس (W/m.k) (۰/۱۱) به عنوان بلوک های رایج و عایق ساختمانی مورد ارزیابی قرار گرفته اند. براساس شاخص های زیست محیطی و نتایج بدست آمده مطابق جداول ۵ و ۶ می توان ادعا کرد: ۱. در صورت استفاده از بلوک سفالی، اگر از عایق حرارتی با ضخامت بیشتر از ۳۵ cm استفاده شود، نتایج حاصل از تغییر میزان انرژی

مصرفی در ساختمان روند صعودی خواهد داشت، ۲. باتوجه به قیمت هر بلوک ساختمانی و عایق حرارتی EPS؛ از حیث شاخص های زیست محیطی استفاده از ترکیب بلوک سفالی و عایق حرارتی EPS نسبت به استفاده از بلوک های عایق چون لیکا و هبلکس عملکرد بهینه تری به همراه خواهد داشت و ۳. برای ساختمان های جدیدالاحداث در صورت استفاده از بلوک سفالی بهترین و به صرفه ترین شرایط مربوط به زمانی خواهد بود که از عایق حرارتی با ضخامت ۴ - ۵ سانتی متر در سمت داخلی جداره ساختمان استفاده شود (درصد تغییرات کل انرژی مصرفی، انتشار کربن دی اکسید و ساعات عدم آسایش نسبت به شرایط فعلی ساختمان: ۸/۴۴ - ۵/۹ - ۵/۴ - ۲/۸۰ و ۳/۰ - رده بندی انرژی: نزدیک به حداقل EC⁺ - EC⁺⁺) (جداول ۵ و ۶).

جدول ۵ مرحله اول (همگام با طراحی) - تأثیر عایق بندی حرارتی (عایق پلی استایرن انبساطی EPS) بر میزان انرژی مصرفی، انتشار کربن دی اکسید و ساعات عدم آسایش

بلوک ساختمانی	ضخامت عایق حرارتی	میزان کل انرژی مصرفی kwh/m ²	میزان انرژی مصرفی در ساختمان kwh/m ²	درصد تغییرات انرژی مصرفی نسبت به حالت قبل (%)	میزان انتشار CO ₂ - kg	ساعات عدم آسایش
حالت مبنا (بدون عایق)		۱۶۶.۳۵	۹۸.۳۰	-	۲۹۳۴۸.۷۶	۸۸۲.۸۰
۵ cm - بهینه ترین	۵ cm	۱۵۱.۳۳	۹۳.۴۹	-۹.۰۲	۲۷۵۸۴.۶۵	۸۵۵.۸۰
۱۰ cm	۱۰ cm	۱۴۸.۵۹	۹۲.۶۰	-۱.۸۱	۲۶۹۶۹.۷۸	۸۴۷.۱۴
۱۵ cm	۱۵ cm	۱۴۵.۹۵	۹۱.۵۶	-۱.۷۸	۲۶۶۷۹.۰۲	۸۳۹.۵۱
۲۰ cm	۲۰ cm	۱۴۵.۷۳	۹۱.۵۰	-۰.۱۵	۲۶۳۵۷.۹۲	۸۳۶.۴۳
۲۵ cm	۲۵ cm	۱۴۵.۷۸	۹۱.۴۸	-۰.۰۳	۲۶۰۶۰.۵۳	۸۳۵.۰۱
۳۰ cm	۳۰ cm	۱۴۵.۶۶	۹۱.۴۳	-۰.۰۸	۲۵۷۵۰.۴۴	۸۳۱.۷۸
۳۵ cm	۳۵ cm	۱۴۵.۸۲	۹۱.۴۵	+۰.۱۱	۲۵۴۶۷.۵۴	۸۳۰.۵۹
۴۰ cm	۴۰ cm	۱۴۶.۱۸	۹۱.۵۲	+۰.۲۵	۲۵۲۰۴.۲۷	۸۲۹.۷۲
۴۵ cm	۴۵ cm	۱۴۶.۴۶	۹۱.۵۶	+۰.۱۹	۲۴۹۳۶.۰۴	۸۲۸.۶۵
۵۰ cm	۵۰ cm	۱۴۷.۱۱	۹۱.۷۰	+۰.۴۴	۲۴۷۰۱.۶۵	۸۲۹.۸۷

جدول ۶ مرحله دوم - تأثیر عایق بندی حرارتی (عایق EPS) و دو نوع بلوک عایق ساختمانی بر میزان انرژی مصرفی، انتشار کربن دی اکسید و ساعات عدم آسایش

نوع بلوک ساختمانی	ضخامت عایق حرارتی	حدود قیمت (ریال) - هر ورق ۱*۲ متر مربع	میزان کل انرژی مصرفی kwh/m ²	میزان انرژی مصرفی در ساختمان kwh/m ²	تغییرات میزان انرژی مصرفی نسبت به حالت قبل (%)	تغییرات میزان انرژی مصرفی نسبت به حالت قبل (%)	میزان انتشار CO ₂ - kg	ساعات عدم آسایش
بلوک سفالی ۲۰ CM	۲۰ CM	۴۳۰۰۰	۱۶۶.۳۵	۹۸.۳۰	-	-	۲۹۳۴۸.۷۶	۸۸۲.۸۰
۲۰*۲۰*۲۰ (بدون عایق)								

۱ cm	۳۰۰۰۰۰	۱۵۹۶۹	۹۶.۲۳	-۴.۰۰	-۲.۱۱	۲۸۵۹۹.۸۱	۲.۵۵	۸۷۲.۷۷	۱.۱۴
۲ cm	۶۰۰۰۰۰	۱۵۶.۴۴	۹۵.۲۰	-۱.۰۷	-۲.۰۳	۲۸۱۹۷.۴۹	۳.۹۰	۸۶۶.۶۶	۱.۸۳
۳ cm	۹۰۰۰۰۰	۱۵۳.۷۳	۹۴.۲۶	-۰.۹۹	-۱.۷۳	۲۷۹۶۸.۲۱	۴.۷۰	۸۶۱.۴۹	۲.۴۰
۴ cm	۱۲۰۰۰۰۰	۱۵۲.۳۱	۹۳.۸۱	-۰.۹۲	-۰.۹۲	۲۷۷۵۶.۶۶	۵.۴۲	۸۵۸.۲۹	۲.۸۰
۵ cm	۱۴۵۰۰۰۰	۱۵۱.۳۳	۹۳.۴۹	-۰.۶۴	-۰.۳۴	۲۷۵۸۴.۶۵	۶.۰۰	۸۵۵.۸۰	۳.۰۶
بهینه‌ترین									
بلوک لیکا - ۲۰ CM	۱۲۰۰۰۰	۱۵۶.۲۵	۹۴.۸۳	-	-۶.۰۷	۲۸۲۷۶.۲۰	۳.۶۶	۸۶۶.۵۰	۱.۸۵
۲۰*۱۴.۵*۴۹									
بلوک هیلکس - AAC - ۲۰ CM	۲۴۰۰۰۰	۱۵۳.۳۰	۹۳.۷۶	-	-۷.۸۰	۲۷۹۵۲.۹۰	۴.۷۶	۸۶۲.۸۰	۲.۳۰
۲۰*۲۵*۶۰									
توضیحات تکمیلی: رده‌بندی انرژی برای ساختمان در صورت استفاده از عایق حرارتی با ضخامت ۱ - ۲ سانتی‌متر: نزدیک به رده EC ⁺ و ضخامت ۳ - ۵ سانتی‌متر: نزدیک به									
حدفاصل EC ⁺ - EC ⁺⁺									

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

پوسته ساختمان به‌عنوان حائل فضای داخلی و خارجی در دریافت نور و انرژی خورشید، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و تأمین آسایش محیطی نقش اساسی ایفا می‌کند. پژوهش حاضر با هدف ارائه راهکارهای مقاوم‌سازی و طراحی مدارس کارا و کم‌کربن به‌واسطه بهینه‌سازی پوسته خارجی ساختمان در اقلیم گرم و خشک انجام شد.

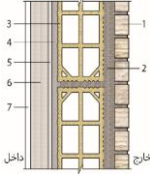
ارزیابی مبانی نظری و مطالعات پیشینه پژوهش نشان می‌دهد: الف) بلوک ساختمانی (همسویی پژوهش فعلی با نتایج پیشین): از میان سایر بلوک‌های ساختمانی، بلوک هیلکس، از نظر بهینه‌سازی مصرف انرژی، بهترین عملکرد را به همراه دارد (اما از نظر تهیه بلوک و اجرا نسبت به سایر بلوک‌های ساختمانی (لیکا و سفالی) پرهزینه‌تر است). در اکثر مطالعات اخیر، بلوک‌های لیکا و هیلکس با ضخامت‌های ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر مورد بررسی قرار گرفته‌اند، اما در پژوهش فعلی به جهت دقت‌سازی نتایج و بررسی سایر معیارها، سه نوع بلوک ساختمانی (سفالی، لیکا و هیلکس) با ضخامت ثابت ۲۰ سانتی‌متر مورد ارزیابی قرار گرفته است و ب) عایق حرارتی (همسویی نسبی پژوهش فعلی با نتایج پیشین): سایر پژوهشگران پس از بررسی ۲ نوع جداره خارجی مختلف (متشکل از بلوک لیکا و یا هیلکس توأم با عایق حرارتی (ضخامت نهایتاً ۱۰ سانتی‌متر)) ادعا می‌کنند، با وجود تأثیرگذاری سایر موارد، استفاده از عایق حرارتی با ضخامت ۵ و یا ۱۰ سانتی‌متر بهترین عملکرد را به همراه خواهد داشت. اما در پژوهش فعلی به‌طور مجزا ۳ نوع جداره خارجی مختلف متشکل از الف) بلوک سفالی توأم با عایق حرارتی (ضخامت ۱ - ۵ سانتی‌متر)، ب) بلوک لیکا و ج) بلوک هیلکس مورد ارزیابی قرار گرفته است. در همین راستا براساس نتایج به‌دست آمده می‌توان ادعا کرد علی‌رغم نزدیکی نتایج حاصل از ارزیابی سه گزینه ارائه شده، جداره نوع اول (بلوک سفالی توأم با عایق حرارتی به ضخامت ۴ - ۵ سانتی‌متر) بهینه‌ترین عملکرد را به همراه خواهد داشت. با توجه به اینکه بلوک‌های هیلکس و لیکا جزء بلوک‌های عایق ساختمانی محسوب می‌شوند، علی‌رغم اینکه بدون عایق حرارتی نیز قابل ارزیابی و اجرا هستند، به‌طور کلی ضخامت عایق حرارتی لازم را نیز کاهش می‌دهند. برخلاف بسیاری از مطالعات، در پژوهش پیش‌رو به جهت نوآوری و دقت‌سازی نتایج تأثیر مستقل و هم‌زمان متغیرهای پژوهش بر بهینه‌سازی مصرف انرژی، کاهش انتشار گاز کربن‌دی‌اکسید و افزایش ساعات آسایش با روش شبیه‌سازی در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر براساس شاخص‌های زیست‌محیطی در ۲ مرحله مورد آزمون و

مقایسه قرار گرفته است (متغیرها: (بلوک سفالی، لیکا و هیلکس و عایق حرارتی (لایه هوا و پلی استایرن منبسط شده EPS) با ضخامت‌های مختلف از ۱ - ۵ سانتی‌متر). براساس شاخص‌های زیست‌محیطی و نتایج بدست آمده مطابق جدول ۷ می‌توان ادعا کرد: الف) افزایش ضخامت عایق حرارتی همیشه منجر به بهبود عملکرد ساختمان در حوزه انرژی، اقتصاد و مسائل زیست‌محیطی نمی‌شود، ب) به جهت افزایش کارایی و بهبود عملکرد ساختمان در زمینه انرژی و تأمین آسایش محیطی، عایق کاری پوسته خارجی ساختمان (ترکیب بلوک سفالی و عایق حرارتی با ضخامت بهینه) نسبت به تغییر نوع بلوک ساختمانی به‌کار رفته در جداره خارجی (استفاده از بلوک‌های عایق چون لیکا و هیلکس) عملکرد بهینه‌تری را به همراه خواهد داشت، پ) علی‌رغم ثابت نگه‌داشتن سایر متغیرهای پژوهش پس از ارزیابی ۲ نوع عایق حرارتی (لایه هوا و پلی استایرن انبساطی EPS) به‌صورت کاملاً مجزا بر روی جداره‌های خارجی متشکل از بلوک سفالی به‌منظور تعیین ضخامت عایق بهینه و استاندارد، نتایجی یکسان (۵ سانتی‌متر) حاصل شد (درصد اختلاف نتایج: کمتر از ۱٪)، ت) پیشگیری بهتر از درمان: با به-کارگیری صحیح چارچوب‌ها و الگوهای پیشنهادی از جمله عایق کاری جداره‌های خارجی و استفاده از بلوک‌های هیلکس و لیکا همگام با فرآیند طراحی، برخلاف ذهنیت عموم و با صرف زمان کمتر و هزینه‌های کمتر و قابل بازگشت می‌توان علی‌رغم تأمین آسایش محیطی، میزان انرژی مصرفی و انتشار گاز کربن‌دی‌اکسید در ساختمان را به‌طور قابل ملاحظه کاهش داد: ۱) در ساختمان‌های موجود - همگام با مرحله بهره‌برداری: استفاده از عایق حرارتی با ضخامت ۵ سانتی‌متر در سمت داخلی جداره خارجی ساختمان بهترین و به‌صرفه‌ترین عملکرد را به همراه خواهد داشت (جدول ۷ - رده‌بندی انرژی: نزدیک به حدفاصل EC⁺ - EC⁺⁺) و ۲) همگام با مرحله طراحی: برای ساختمان‌های جدیدالاحداث در صورت استفاده از بلوک سفالی بهترین و به‌صرفه‌ترین شرایط مربوط به زمانی خواهد بود که از عایق حرارتی با ضخامت ۴ - ۵ سانتی‌متر در سمت داخلی بنا استفاده شود (جدول ۷ - رده‌بندی انرژی: نزدیک به حدفاصل EC⁺ - EC⁺⁺)؛ افزایش تعداد لایه‌ها و ضخامت جداره خارجی بنا (در ساختمان‌های موجود نسبت به ساختمان‌های جدیدالاحداث) بر تعیین ضخامت بهینه عایق حرارتی تأثیرگذار است؛ در همین راستا عایق‌کاری همگام با مرحله طراحی راهکار بهینه‌تر و اقتصادی‌تر است (جدول ۷) و ث) باتوجه به نتایج حاصل از ارزیابی و اعداد

صورت گرفته است؛ لذا در صورت تغییر پیش فرض‌ها، تغییرات احتمالی در نتایج ممکن می‌باشد و باید ارزیابی و قیاس مقادیر مجدداً صورت گیرد. باتوجه به اهمیت حوزه انرژی و محیط زیست در راستای دستیابی به الگوهای مقاوم سازی و طراحی ساختمان‌های کارا و کم‌کربن، در پژوهش‌های آتی می‌توان به بررسی تأثیر عواملی چون باد، تهویه، سایبان‌های داخلی و خارجی، تعدد لایه‌های جداره خارجی، سبزی‌نگی، نسبت بازشو به سطح و مواردی از این قبیل بر بهینه‌سازی عملکرد پوسته خارجی ساختمان پرداخت.

و ارقام به دست آمده به منظور کاهش هزینه عایق کاری جداره خارجی ساختمان می‌توان از لایه هوا و یا ترکیب عایق پلی استایرن EPS و لایه هوا استفاده نمود. اعداد و ارقام به دست آمده بر مبنای متوسط سالیانه می‌باشد و با این پیش فرض که مدارس به صورت منقطع از ساعت ۸ - ۱۳ بعد از ظهر در بازه زمانی ۹ ماهه (از مهر ماه تا خرداد) مورد استفاده دانش آموزان قرار می‌گیرند. اینک باید اشاره کرد که پژوهش حاضر براساس شرایط فعلی ساختمان، پیش فرض‌های نرم افزار دیزاین بیلدر و شرایط اقلیمی اصفهان

جدول ۷ یافته‌های پژوهش تحت تأثیر بررسی مستقل و همزمان متغیرهای مورد ارزیابی - ارائه راهکارهای مقاوم سازی و طراحی ساختمان‌های موجود و جدیدالاحداث (مدل‌های بهینه شده پوسته خارجی)

عناوین	حالات مختلف مورد ارزیابی	میزان کل انرژی مصرفی Kwh/m^2	میزان انرژی مصرفی در ساختمان Kwh/m^2	انتشار CO_2 kg	ساعات عدم آسایش
حالت مبنا (بدون عایق)	وضع موجود: بلوک سفالی	۱۶۶.۳۵	۹۸.۳۰	۲۹۳۴۸.۷۶	۸۸۲.۸۰
ساختمان‌های موجود	نمونه اول (بلوک سفالی + لایه هوا با ضخامت ۵ سانتی‌متر)	٪۱۰.۹۰	٪۶.۳۰	٪۶.۸۰	٪۴.۲۰
همگام با مرحله بهره‌برداری	نمونه اول (بلوک سفالی + عایق EPS با ضخامت ۵ سانتی‌متر)	٪۱۰.۲۰	٪۵.۹۰	٪۶.۴۱	٪۳.۹۳
ساختمان‌های جدیدالاحداث	نمونه دوم (بلوک سفالی + عایق EPS با ضخامت ۴ - ۵ سانتی‌متر)	٪۸.۴۵ - ٪۹.۰۲	٪۴.۶۰ - ٪۴.۹۰	٪۵.۴۲ - ٪۶.۰۰	٪۲.۸۰ - ٪۳.۰۶
زمان ارزیابی: همگام با طراحی	نمونه دوم (بلوک لیکا) نمونه دوم (بلوک هیلکس)	٪۶.۰۷	٪۳.۵۳	٪۳.۶۶	٪۱.۸۵
		٪۷.۸۰	٪۴.۶۲	٪۴.۷۶	٪۲.۲۰
عنوان	نوع و جزئیات جداره خارجی	دیتیل‌های اجرایی	جزئیات لایه‌بندی		
ساختمان‌های موجود (همگام با مرحله بهره‌برداری)	عایق حرارتی: پلی استایرن انبساطی EPS بلوک سفالی در مجاورت فضای خشک		(۱) آجر نما کرمی ۵ سانتی‌متری (۲) ۳ سانتی‌متر ملات ماسه سیمان (۳) بلوک سفالی (۲۰ سانتی‌متری) (۴) ۱.۵ سانتی‌متر گچ و خاک (۵) ۱ سانتی‌متر گچ (۶) عایق حرارتی EPS (۵ سانتی‌متر) (۷) پنل گچی (۲ سانتی‌متر) و رنگ روغنی سفید		
ساختمان‌های جدید (همگام با طراحی)	عایق حرارتی: پلی استایرن انبساطی EPS بلوک سفالی در مجاورت فضای خشک		(۱) آجر نما کرمی ۵ سانتی‌متری (۲) ۳ سانتی‌متر ملات ماسه سیمان (۳) بلوک سفالی (۲۰ سانتی‌متری) (۴) عایق حرارتی EPS (۴ - ۵ سانتی‌متر) (۵) پنل گچی (۲ سانتی‌متر) و رنگ روغنی سفید		

نکات تکمیلی: پوسته‌های خارجی متشکل از لایه هوا به عنوان عایق حرارتی؛ نازک کاری پس از لایه هوا به صورت خشک (بدون استفاده از ملات) اجرا می‌شود.

پی‌نوشت

- ارزیابی و بهینه‌سازی لایه‌بندی پوسته خارجی ساختمان، به‌عنوان یک از مؤثرترین راهکارهای ایستا (غیرفعال) از حیث انرژی، تبادل حرارت و انتشار گازهای گلخانه‌ای محسوب می‌شود.
- اگر به شاخص‌های آسایش حرارتی (PPD (Predicted Percentage Of Dissatisfied) و PMV (Predicted Mean Vote) و میانگین دمای هوا در ۹ ماهه سال (مهر تا خرداد) توجه شود، به جز دی، خرداد و اواخر اردیبهشت ماه که درصد ناراضیاتی افراد از شرایط محیطی بیش از ۵۰٪ است، در ۶ ماه دیگر درصد ناراضیاتی افراد از شرایط محیطی بسیار کم (حدود ۵ - ۱۰٪) و شرایط مطلوب است.
- بلوک‌های بتنی سبک گازی چون AAC؛ بتن سبک گازی نوع مخصوصی از بتن سبک و متخلخل است که از موادی با پایه سیمان، آهک و سیلیس تولید می‌شود. این نوع بتن سبک وزن بوده و با اضافه کردن یک عامل حباب‌ساز درون قالب‌هایی ویژه ساخته می‌شود. سپس بلوک‌های بتنی از قالب جدا شده و در یخار پخته می‌شوند؛ به این فرآیند عمل اتوکلاو کردن می‌گویند. میزان مصرف انرژی در تولید این نوع بتن متعادل و مقرون به صرفه است و به دلیل ساختار منفذدار و ترکیب منحصر به فردش به میزان رضایت‌بخشی عایق صدا و حرارت است. از طرفی بتن اتوکلاو شده قابل اشتعال نیست؛ بنابراین می‌تواند مانع خوبی برای جلوگیری از آتش‌سوزی باشد. همچنین ساختار آن به گونه‌ای است که تحمل وزن بالا و عمر طولانی دارد و باعث تولید گازهای سمی نمی‌شود بنابراین دوستدار محیط‌زیست است. از بتن‌های اتوکلاو در ساخت دیوار، سقف و کف نیز استفاده می‌شود.

۴. در روش "کارایی انرژی"، کل انرژی سالانه مصرفی ساختمان مینا قرار می‌گیرد. در نتیجه، لازم است ارزیابی و طراحی پوسته خارجی بنا، تأسیسات مکانیکی و الکتریکی و همچنین سیستم‌های تجدیدپذیر (در صورت استفاده) به گونه‌ای صورت گیرد که میزان انرژی سالانه مصرفی ساختمان طرح از مقدار آن برای ساختمان مرجع کمتر باشد. در روش کارایی انرژی، تمامی پارامترهای مؤثر بر مصرف انرژی، به یکی از دو شیوهی: ۱. قیاسی (مدل‌سازی انرژی ساختمان مرجع) و یا ۲. معیار مصرف انرژی (بر مبنای واحد سطح و داده‌های مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان) به‌صورت یکپارچه ملاک ارزیابی و طراحی قرار می‌گیرد؛ این امر باعث می‌شود ارزیابی و طراحی مطابق این روش تنها توسط یک تیم منسجم امکان‌پذیر باشد.

۵. برخلاف ذهنیت عموم مردم افزایش ضخامت عایق حرارتی همیشه منجر به بهبود عملکرد ساختمان در حوزه انرژی، اقتصاد و مسائل زیست‌محیطی نمی‌شود؛ در همین راستا به‌منظور اثبات موضوع فوق و تعیین مناسب‌ترین گزینه علی‌رغم کاهش تعداد داده‌ها، دیوارهای خارجی در ۱۱ حالت مختلف شبیه‌سازی شده که در آن ضخامت عایق حرارتی پلی‌استایرن انبساطی EPS از ۱ تا ۵۰ سانتی‌متر تغییر کرده است (در این ۱۱ حالت ضخامت عایق حرارتی به صورت ۵ سانت ۵ سانت افزایش یافته است). با توجه به نتایج مرحله اول و اینکه افزایش ضخامت عایق حرارتی همیشه منجر به بهبود عملکرد ساختمان در حوزه انرژی، اقتصادی و مسائل زیست‌محیطی نمی‌شود؛ در مرحله دوم دیوارهای خارجی در ۵ حالت مختلف شبیه‌سازی شده که در آن ضخامت عایق حرارتی از ۱ تا ۵ سانتی‌متر تغییر کرده است (در این ۵ حالت ضخامت عایق حرارتی به صورت ۱ سانت ۱ سانت افزایش یافته است).

۶- تقدیر و تشکر

نویسندگان از اداره کل نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس استان اصفهان جهت همکاری در راستای تکمیل مدارک مدرسه حاج علی حق‌پناه کمال تشکر را دارند.

۷- منابع

- [1] M. Santamouris, Innovating to Zero the Building Sector in Europe: Minimising the Energy Consumption, Eradication of the Energy Poverty and Mitigating the Local Climate Change, *Solar Energy*, Vol. 128, pp. 61-94, 2016; Doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.01.021>.
- [2] K. K. W. Wan, D. H. W. Li, W. Pan, and J. C. Lam, Impact of Climate Change on Building Energy Use in Different Climate Zones and Mitigation and Adaptation Implications, *Applied Energy*, Vol. 97, pp. 274-282, 2012.
- [3] E. Solgi, S. Memarian, and G. Nemat Moud, Financial Viability of PCMs in Countries with Low Energy Cost: A Case Study of Different Climates in Iran, *Energy and Buildings*, Vol. 173, pp. 128-137, 2018; Doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.05.028>.
- [4] B. Dudley, Statistical Review of World Energy, *BP*, Statistical Review, 67th Edition, London: UK, 2018.
- [5] Sh. Avazalipour Haqiqatparast, Y. Taghizadeh, and H. Zbihi, Designing a Native Pattern in Arid Climate to Reduce Energy Consumption in Housing Sector (Case Study: Yazd), *Environmental Science and Technology*, Vol. 21, No.3, pp. 227-236, 2019. (in Persian)
- [6] H. Zhang, K. Hewage, H. Karunathilake, H. Feng, and R. Sadiq, Research on Policy Strategies for Implementing Energy Retrofits in the Residential Buildings, *Journal of Building Engineering*, Vol. 43, p. 103161, 2021.
- [7] E. Parliament, *Report on the Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council Amending Directive 2010/31/EU on the Energy Performance of Buildings*, 2017.
- [8] M. Tahsildoost, and Z. S. Zomorodian, Energy Retrofit Techniques: An Experimental Study of Two Typical School Buildings in Tehran, *Energy and Buildings*, Vol. 104, pp. 65-72, 2015; Doi:10.1016/j.enbuild.2015.06.079.
- [9] J. Laustsen, Energy Efficiency Requirements in Building Codes, Energy Efficiency Policies for New Buildings, IEA Information Paper, *International Energy Agency*, OECD/IEA, Communication and Information Office, Paris, 2008.
- [10] H. Jang, L. Jones, and J. Kang, Prioritisation of Old Apartment Buildings for Energy-Efficient Refurbishment based on the Effects of Building Features on Energy Consumption in South Korea, *Energy and Buildings*, Vol. 96, pp. 319-328, 2015.
- [11] P. Jie, F. Zhang, Z. Fang, H. Wang, and Y. Zhao, Optimizing the Insulation Thickness of Walls and Roofs of Existing Buildings based on Primary Energy Consumption, Global Cost and Pollutant Emissions, *Energy*, Vol. 159, pp. 1132-1147, 2018.
- [12] A. Ford, *Architecture of Modern Schools*, (Translators: Mojtabi Dolatkah and Fateme Taghizadeh). Bakhtar Publishing House, Tehran, 2009. (in Persian)
- [13] Technical and Research Office - Green Management Steering Center, and Organization of Renovation, Development and Equipping of the Country's Schools, *Guidelines for Green Management in Educational, Training and Sports Spaces*, First Edition, Tehran, 2017. (in Persian)
- [14] Green Management Steering Center, and Organization of Renovation, Development and Equipping of the Country's Schools, *Getting to Know Green School*, Tehran, 2018. (in Persian)
- [15] Environmental Protection Organization, *Charter of Comprehensive Environmental Schools - Theoretical Foundations and Implementation Plan*, C, 2015.
- [16] B. G. Tasci, Sustainability Education by Sustainable School Design, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol. 186, pp. 868 - 873, 2015; Doi:10.1016/j.sbspro.2015.04.199.
- [17] G. I. Earthman, *Planning Education Facilities*, USA: Rowman and Littlefield Education, Third Edition, 2009.
- [18] X. Shi, Z. Tian, W. Chen, B. Si, and X. Jin, A Review on Building Energy-Efficient Design. Optimization from the Perspective of Architects, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 872-884, 2016.
- [19] M. Yousefi Tazakor, A. Azam Anhar, and V. Ghorbani, Zero Energy Buildings, *Ivan Chaharso Journal*, Vol. 2, No. 5, 2019. (in Persian)
- [20] B. Edward, *Guides to Sustainable Architecture*, Second Edition, Translator: Shahroz Tehrani, Iraj, Mehrzan, Tehran, 2009. (in Persian)
- [21] M. Joshghani, Cooling and Heating Energy Consumption in School Buildings, *New School*, Vol. 26, pp. 18-20, 2001. (in Persian)
- [22] M. Mahdavejad, A. Zia, A. N. Larki, S. Ghanavati, and N. Elmi, Dilemma of Green and Pseudo Green Architecture based on LEED Norms in case of Developing Countries, *International Journal of Sustainable Built Environment*, Vol. 3, No. 2, pp. 235-246, 2014.
- [23] F. Heidari, M. Mahdavejad, and S. H. Sotodeh, Renewable Energy and Smart Hybrid Strategies for High Performance Architecture and Planning in case of Tehran, Iran, IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, Vol. 159, pp.1-10, 2018; Doi:10.1088/1755-1315/159/1/012030.
- [24] F. Habib, Z. Barzegar, and M. Cheshmeh Ghasabani, Prioritization of Effective Building Energy Consumer Parameters by AHP Deployment, *Naqshejahan*, Vol. 4, No. 2, pp. 47-53, 2014. (in Persian)
- [25] F. Babich, G. Torriani, J. Corona, and I. Lara-Ibeas, Comparison of Indoor Air Quality and Thermal Comfort Standards and Variations in Exceedance for School Buildings, *Journal of*

- Building Engineering*, Vol. 71, p. 106405, 2023; Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobte.2023.106405>.
- [26] CA. Erdmann, KC. Steiner, and MG. Apte, Indoor Carbon Dioxide Concentrations and Sick Building Syndrome Symptoms in the Base Study Revisited: Analyses of the 100 Building Dataset, Berkeley: *Lawrence Berkeley National Laborator*, 2002.
- [27] A. Menaam, *Environmental Comfort in Urban Open Spaces (Evaluation of Thermal Comfort in Selected Parks in Tehran)*, Ph.D. Thesis, Faculty of Architecture and Urban Planning, Tehran University of Science and Technology, 2019.
- [28] Q. Al-Yasiri, and M. Szabó, Experimental Study of PCM-Enhanced Building Envelope towards Energy-Saving and Decarbonisation in a Severe Hot Climate, *Energy and Buildings*, Vol. 279, p. 112680, 2023; Doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112680>.
- [29] P. O. Akadiri, E. A. Chinyio, and P. O. Olomolaiye, Design of a Sustainable Building: A Conceptual Framework for Implementing Sustainability in the Building Sector, *Buildings*, Vol. 2, No. 2, pp. 126-152, 2012; Doi:10.3390/Buildings2020126.
- [30] A. Nouri Makaram, Optimizing Energy Consumption and Providing Solutions to Save Energy in Buildings, *The Second National Conference on Climate, Building and Optimization of Energy Consumption*, Esfahan, Iran, pp. 80-86, 2013. (in Persian)
- [31] V. Yellamraju, *Evaluation and Design of Double Skin Façade for Office Building in Hot Climates*, Ms Diss, Texas A&M University, 2004.
- [32] M. Valitabar, M. Mahdavejad, and P. P. Henry Skates, Data-Driven Design of Adaptive Façades: View, Glare, Daylighting, and Energy Efficiency, *Architecture in the Age of Disruptive Technologies – Transformation and Challenges Conference*, 2021.
- [33] P. Bakmohammadi, and E. Noorzai, Optimization of the Design of the Primary School Classrooms in terms of Energy and Daylight Performance Considering Occupants' Thermal and Visual Comfort, *Energy Reports*, No. 6, pp. 1590-1607, 2020; Doi: <https://doi.org/10.1016/j.egyrs.2020.06.008>.
- [34] A. Senel Solmaz, FH. Halicioglu, and S. Gunhan, An Approach for Making Optimal Decisions in Building Energy Efficiency Retrofit Projects, *Indoor and Built Environment*, Vol. 27, No. 3, pp. 348-368, 2018; Doi: <https://doi.org/10.1177/1420326x16674764>.
- [35] A. Zhang, R. Bokel, A.V. D. Dobbeltstein, Y. Sun, Q. Huang, and Q. Zhang, Optimization of Thermal and Daylight Performance of School Buildings based on a Multi-Objective Genetic Algorithm in the Cold Climate of China, *Energy Build*, No. 139, pp. 371-384, 2017.
- [36] X. Chen, Y. Wang, and H. Yang, Parametric Study of Passive Design Strategies for Highrise Residential Buildings in Hot and Humid Climates: Miscellaneous Impact Factors, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 69, pp. 442-460, 2017.
- [37] X. Chen, K. Sun, and H. Yang, A Holistic Passive Design Approach to Optimize Indoor Environmental Quality of a Typical Residential Building in Hong Kong, *Energy and Buildings*, Vol. 113, pp. 267-281, 2016.
- [38] O. Alshamrani, K. Galal, and A. Alkass, Integrated LCA LEED Sustainability Assessment Model for Structure and Envelope Systems of School Buildings, *Building and Environment*, Vol. 80, pp. 61-70, 2014; Doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.05.021>.
- [39] L. De Santoli, F. Fraticelli, F. Fornari, and C. Calice, Energy Performance Assessment and a Retrofit Strategy in Public School Buildings in Rome, *Energy and Buildings*, Vol. 68, pp. 196-202, 2014; Doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.08.028>.
- [40] Y. Yousefi, S. Yousefi, and Y. Yousefi, Energy Efficiency in Educational Buildings in Iran: Analysis and Measures, in *Proceedings of BS2015: 14th Conference of International Building Performance Simulation Association*, pp. 169-174, 2015.
- [41] P. Keshtkārān, K. Movahed, and Z. Barzegar Marvasti, Retrofitting School Building Envelope in order to Enhance Sustainable School Architecture: Case Study of Shiraz City, *Educational Innovations*, Vol. 16, No. 2, pp. 7-24, 2017. (in Persian)
- [42] M. Madahi, and F. Tavanaiee, Optimization of Thermal Performance of External Walls of Residential Building in Cold and Dry Climate by Utilizing the Energy Simulation Software (A Case Study: Mashhad, Iran), *Energy Engineering and Management*, Vol. 9, No. 3, pp. 108-121, 2019; Doi: 10.22052/9.3.108. (in Persian)
- [43] S. M. Madahi, and M. Abbasi, Thermal Behavior Analysis of the External Shell of Buildings Constructed with Traditional and Modern Materials and Execution Technologies for Energy Consumption Optimization; Case Study: Residential Buildings in Mashhad City, *Armanshahr Architecture & Urban Development*, Vol. 12, No. 29, pp. 167-183, 2020; Doi: 10.22034/aaud.2020.102374. (in Persian)
- [44] F. Allahyari, A. Behbahaninia, H. Rahami, M. Farahani, and S. Khadivi, Optimizing Energy Consumption in the Building Sector Using Neural Network and PSO Algorithms (Case Study: Bandar Abbas City), *Environmental Science and Technology Quarterly*, Vol. 23, No. 10, pp. 1-17, 2021; Doi: 10.30495/jest.2021.53494.5103. (in Persian)
- [45] Z. Abbaszadeh, M. Haghlesan, and H. Ebrahimi Asl, Simulation of Residential Buildings with Different Architectural Components in order to Optimize Energy Consumption in Tehran (Case Study of Zone 1), *Geography (Regional Planning)*, Vol. 12, No. 49, pp. 430-448, 2022; Doi: 10.22034/jgeoq.2021.162869. (in Persian)
- [46] S. E. Sadati, N. Rahbar, and H. Kargarsharifabad, Energy Assessment, Economic Analysis, and Environmental Study of an Iranian Building: The Effect of Wall Materials and Climatic Conditions, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Vol. 56, p. 103093, 2023; Doi: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103093>.
- [47] V. Gupta., and C. Deb, Envelope Design for Low-Energy Buildings in the Tropics: A Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 186, p. 113650, 2023.
- [48] A. Yari Nezhad, and A. Mahravan, Investigating the Effect of Optimizing External Skins and Translucent Walls on Reducing Energy Consumption and Investment Return Time of Educational Buildings in a Temperate Climate with Dry and Very Hot Summers, *Journal of Applied and Computational Sciences in Mechanics*, Vol. 36, No. 1, pp. 41-60, 2024; Doi: 10.22067/jacsm.2023.81531.1175. (in Persian)
- [49] ASHRAE, *ASHRAE Standard 55-2010, Thermal*, 2012.
- [50] H. Mohammadi, *Applied Meteorology*, Tehran University Press, 2005.
- [51] *Simulation Performance Energy Building of Capabilities of University*, Strathclyde of University, Energy of Department US .Wisconsin.
- [52] S. Shafaqhi, *Geography of Isfahan*, First Edition, Isfahan University Press, Isfahan, 2008. (in Persian)
- [53] *Isfahan Municipality's Deputy Directorate for Planning, Research and Information Technology*, B: Isfahan City Statistics, General Environmental Features Section, 2014. (in Persian)
- [54] *Climatic Profile of East Isfahan*, East Isfahan Meteorological Department (Shahid Beheshti Airport), 2015. (in Persian)
- [55] *General Directorate of Meteorology of Isfahan Province*, Isfahan Climate Profile, 2014. (in Persian)
- [56] OECD, *CO₂ Emissions from Fuel Combustion*, OECD Publishing, 2017.
- [57] Vice President of Electricity and Energy Affairs, *Electricity and Energy Macro Planning Office, Energy Balance Sheet of Iran for 2016, 2018*; Available from: <http://pep.moe.gov.ir>. (in Persian)
- [58] Y. Zhou, L. Clarke, J. Eom, P. Kyle, P. Patel, and S. H. Kim, Modeling the Effect of Climate Change on US State-Level Buildings Energy Demands in an Integrated Assessment Framework, *Applied Energy*, Vol. 113, pp. 1077-1088, 2014.
- [59] R. Looman, *Climate-Responsive Design: A Framework for an Energy Concept Design-Decision Support Tool for Architects Using Principles of Climate-Responsive Design*, PhD Dissertation. TU Delft, *Architecture and the Built Environment*, 2017.

- [60] O. L. Frank, S. A. Omer, S. B. Riffat, and B. Mempoou, The Indispensability of Good Operation & Maintenance (O&M) Manuals in the Operation and Maintenance of Low Carbon Buildings, *Sustainable Cities and Society*, Vol. 14, pp. e1-e9, 2015.
- [61] S. Cho, and C. Chae, A Study on Life Cycle CO₂ Emissions of Low-Carbon Building in South Korea, *Sustainability*, Vol. 8, No. 6, p. 579, 2016.
- [62] N. Abolhasani, R. Fayaz, A. Mostaghni, and S. Ghasab Sattari, Assessment of Design-Effective Low-Carbon Building Criteria in Iran, *Journal of Architecture and Urban Planning*, Vol.16, No. 40, pp. 5-25, 2023; Doi: 10.30480/aup.2022.2913.1585. (in Persian)